

ABSTRAK

PENGEMBANGAN PEMODELAN MAGNETOTELLURIK TIGA DIMENSI (3-D) BERBASIS ELEMEN-HINGGA VEKTOR DENGAN MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG

Oleh

Rudy Prihantoro

NIM : 30211551

(Program Studi Doktor Fisika)

Disertasi ini menguraikan tentang pengembangan pemodelan magnetotellurik (MT) tiga dimensi (3-D) didasarkan pada pendekatan elemen-hingga vektor dengan menggunakan metode langsung. Pemodelan yang dikembangkan menghasilkan algoritma dan perangkat lunak untuk menghitung respon MT dari struktur resistivitas 3-D.

Elemen-hingga vektor merupakan metode elemen hingga yang menggunakan tepi elemen sebagai vektor basis untuk mengatasi timbulnya solusi non-fisis yang sering dijumpai pada metode elemen hingga konvensional (berbasis simpul). Selain itu, kesulitan penerapan syarat batas di bidang batas diskontinuitas yang sering dijumpai pada metode elemen hingga berbasis simpul dapat diatasi dengan metode elemen-hingga vektor. Pemodelan MT 3-D berbasis elemen-hingga vektor melibatkan diskritisasi domain pemodelan yang berujung pada penyelesaian sistem persamaan linear yang besar. Pada penelitian ini solusi sistem persamaan linear diselesaikan menggunakan metode langsung karena ditemukannya kendala berupa laju konvergensi yang lambat jika penyelesaian menggunakan metode iteratif yang telah umum digunakan pada pemodelan MT. Hal tersebut dapat meningkatkan efektivitas pemodelan tanpa mengurangi akurasi hasil pemodelan.

Hasil pemodelan berupa respon MT selanjutnya diuji menggunakan serangkaian tahap pengujian dimulai dengan pengujian terhadap model resistivitas yang paling sederhana yaitu model satu dimensi (1-D), dua dimensi (2-D) sampai model tiga dimensi (3-D). Perangkat lunak yang dihasilkan dari penelitian ini juga diterapkan untuk melakukan pemodelan terhadap data MT di daerah patahan Sumatera Provinsi Aceh.

Pengujian terhadap model 1-D dilakukan dengan membandingkan antara solusi analitik dengan solusi numerik hasil pemodelan. Hasil perbandingan tersebut menunjukkan akurasi dari pemodelan 3-D menggunakan metode elemen-hingga vektor. Pengujian dilakukan menggunakan dua formulasi yang berbeda yaitu formulasi E dan formulasi H. Meskipun terdapat perbedaan akurasi pada solusi

dengan formulasi yang berbeda, kedua solusi tersebut menunjukkan kedekatan nilai dengan solusi analitik.

Pengujian dengan model 2-D dilakukan untuk struktur dyke dengan panjang terbatas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa respon MT 3-D yang diperoleh sesuai dengan respon MT 2-D pembanding. Korelasi terbaik diberikan oleh respon MT 3-D untuk mode medan magnetik sejajar jurus terhadap mode *transverse magnetics* (TM) solusi 2-D.

Pengujian model 3-D dilakukan terhadap model baku yang telah banyak digunakan sebagai rujukan yaitu COMMEMI, DTM1 dan model konseptual panas bumi. Pengujian dengan model COMMEMI baik COMMEMI 3D-1A maupun COMMEMI 3D-2A memberikan hasil perbandingan yang baik antara respon MT hasil pemodelan 3-D dengan respon rujukan. Sementara itu, pengujian dengan model DTM1 menunjukkan bahwa respon MT yang dihasilkan sebanding dengan respon yang dihitung menggunakan metode beda-hingga, maupun dengan metode elemen-hingga vektor namun menggunakan solusi iteratif. Pengujian dengan model konseptual panas bumi juga memperlihatkan kesesuaian antara respon MT yang diperoleh pada penelitian ini dengan respon MT dari data rujukan. Selain kesesuaian di atas, tampak bahwa prosedur yang diajukan lebih efektif dalam memperoleh solusi sistem persamaan yang muncul dari pemodelan MT 3-D.

Penerapan perangkat lunak yang dihasilkan terhadap data lapangan yang diperoleh dari daerah di Provinsi Aceh, menunjukkan manfaat dari hasil penelitian ini untuk memodelkan struktur resistivitas patahan Sumatera di Provinsi Aceh secara tiga dimensi. Diharapkan, pemodelan yang telah dilakukan pada penelitian ini, bersamaan dengan hasil studi lainnya (geologi dan metode geofisika lain), dapat berguna untuk mempelajari lebih jauh fenomena gempa bumi yang bersangkutan dengan patahan aktif Sumatera di Provinsi Aceh.

Kata kunci: elemen-hingga vektor, struktur resistivitas, respon MT 3-D.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF THREE-DIMENSIONAL (3-D) MAGNETOTELLURIC MODELING BASED ON VECTOR FINITE ELEMENT USING DIRECT METHOD

By
Rudy Prihantoro
NIM : 30211551
(Physics Doctoral Program)

This dissertation describes the development of three-dimensional (3-D) magnetotelluric (MT) modeling based on vector finite element approach by using the direct method. The modeling approach that has been developed produce algorithms and software to calculate the MT response of 3-D resistivity structures.

The vector finite element is a variant of finite element method which uses the edge of the elements as a vector basis to address the occurrence of non-physical solutions that are found in conventional finite element method (node based). In addition, this vector approach can also be used to overcome the difficulties of applying boundary condition at the discontinuity. Three-dimensional MT modeling involves discretization process of modeling domain that produce large system of linear equations which need to be solved. In this study, the solution of linear equations is solved using the direct method since slow convergence rate will be a problem if we use more common methods in MT modeling such as iterative methods. This can increase the effectiveness of modeling without reducing the accuracy of the modeling results.

MT modeling results in the form of the MT response were validated using a series of test models. The simplest model is one-dimensional (1-D) that is followed by two-dimensional (2-D) and finally the model of three-dimensional (3-D) resistivity structure. The software developed in this study are also applied for modeling of the MT data obtained at fault zone in Aceh province.

Tests on 1-D model is done by comparing the analytical solution with numerical solutions. The comparison results show the accuracy of the modeling using vector finite element method. The comparasion was performed using two different formulations (formulation E and formulation H). Eventhough there are differences in the accuracy of the solution with different formulations, both of these solutions shows the closeness value with analytic solutions.

Testing with 2-D models is done using the dyke structure with limited length. The resulting 3-D MT responses is in good agreement with the 2-D MT response. The

best correlation is given by the 3-D MT response for mode of magnetic field parallel to strike, with the transverse magnetics mode (TM) of the 2-D solution.

The resulting 3-D model were tested against a series of standard model that has been widely used as a reference, those are COMMEMI, DTM1 and geothermal conceptual model. Testing with both COMMEMI models, COMMEMI 3D-1A and 3D-2A, provides good comparisons result between MT responses. Meanwhile, testing of the DTM1 model showed that the resulting MT response are in good agreement with other solutions computed using different methods, as well as the same method but adopting iterative solution. Testing with geothermal conceptual model also shows good agreement between the MT responses obtained from the proposed method with the corresponding referenced model responses. Furthermore, it clearly appears that the proposed procedure is more effective at solving the solution of large equation system arising from discretization, in comparison to the other procedures.

Application of the proposed method to the MT data obtained from Aceh province area, demonstrate the usefulness of this study in modeling 3-D resistivity structure of the Sumatra fault zone. Hopefully, the modeling that has been done here, along with other studies (geology and others geophysical methods), will be useful for further study concerning the earthquakes phenomenon which related to the active faults in Aceh province.

Keywords: vector finite element, resistivity structure, 3-D MT response.